



Egnede membransystemer til radonsikring

vurdering af ti membransystemer

Rasmussen, Torben Valdbjørn; Buch-Hansen, Thomas Cornelius

Publication date:
2018

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, T. V., & Buch-Hansen, T. C. (2018). *Egnede membransystemer til radonsikring: vurdering af ti membransystemer*. (1. udgave udg.) Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. SBI-rapport Nr. 2018:06

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

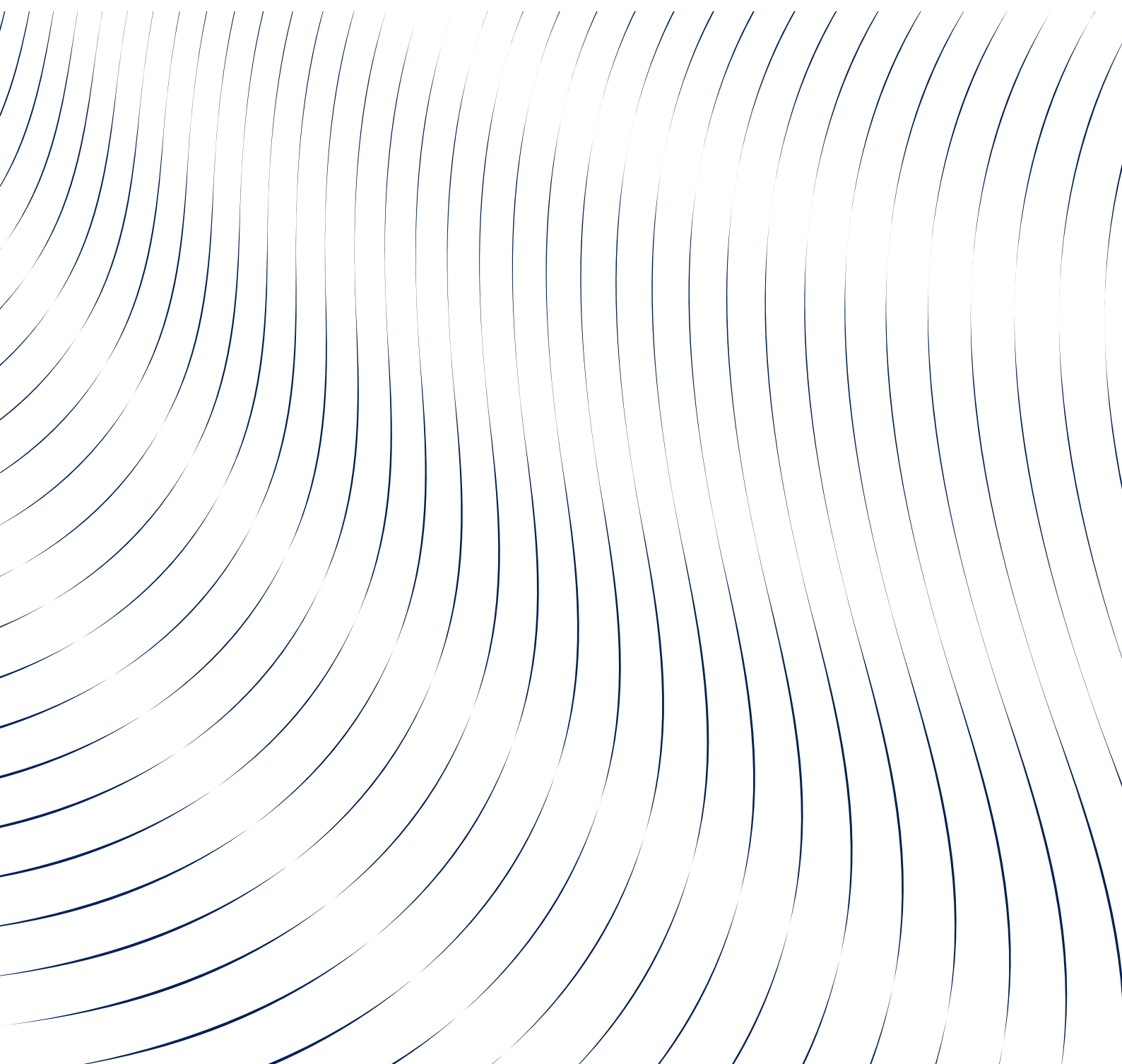


STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

EGNEDE MEMBRANSYSTEMER TIL RADONSIKRING

VURDERING AF TI MEMBRANSYSTEMER

SBI 2018:06



Egnede membransystemer til radonsikring

Vurdering af ti membransystemer

Torben Valdbjørn Rasmussen
Thomas Cornelius

Titel	Egnede membransystemer til radonsikring
Undertitel	Vurdering af ti membransystemer
Serietitel	SBi 2018:06
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2018
Forfatter	Torben V. Rasmussen, Thomas Cornelius
Redaktion	Lise Lotte Beck Raunkjær
Sprog	Dansk
Sidetal	28
Litteratur- henvisninger	Side 27-28
Emneord	Radon, membransystemer, test, systemløsning, vurdering
ISBN	978-87-563-1893-8
Tegninger	Bo Amstrup Vestergaard
Fotos	Thomas Cornelius
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Indhold

Forord	4
Indledning	5
Baggrund	5
Mål	6
Metodens anvendelsesområde.....	6
Testmaterialer	6
Sammenfatning	7
Formål.....	7
Prøvning.....	7
Konklusion	8
Øvrige krav til materialer egnet til radonsikring	9
Membransystemer.....	11
Prøvningsmetode	13
Anvendelsesområde	13
Prøvning.....	13
Apparatur	16
Eksempel.....	19
Resultater	21
Diskusion	22
Konklusion	25
Litteratur	27

Forord

Rapporten præsenterer prøvningsresultater for ti forskellige membransystemer til radonsikring, der er tilgængelige på det danske markedet. Prøvnin-
gerne er foretaget efter en standardiseret metode til prøvning af materialer til
radonsikring. Prøvningen udføres ved at måle materialernes evne til at sikre
lufttætning af vægge og gulve, inklusiv lufttætning omkring gennemføringer i
form af rør og riste. Metoden omfatter ligeledes indad- og udadgående hjør-
ner. Metoden omfatter ikke indtrængning af radon ved diffusion. Prøvnings-
metoden er nærmere beskrevet i SBI rapporten SBI 2016:21, *Lufttæthed af
materialer til radonsikring – Testmetode* (Rasmussen & Cornelius, 2016).

Projektet er gennemført, da undersøgelser (Jensen & Gunnarsen, 2008)
har vist, at eksisterende bygninger opført efter tidligere bygningsreglementer
end Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) ikke nød-
vendigvis opfylder kravet, som stilles til nye bygninger. Det er problematisk,
fordi der i 2018 er indført et referenceniveau, der matcher kravene til nye
bygninger. Er radonindholdet i bygningen højere end referenceniveauet be-
trages det som uhensigtsmæssigt, og man skal vurdere, om det med rime-
lige midler kan bringes til under referenceniveauet (Sundheds- og Ældre-
ministeriet, 2018a).

Det vurderes, at der er behov for viden om de systemer, der anvendes til
sikring mod indtrængning af radon. Det skyldes primært manglende viden
om og dokumentation af nødvendige og tilstrækkelige egenskaber for de
materialer, der anvendes, hvor radonsikring af bygninger udføres ved at
gøre konstruktioner mere lufttætte, fx mod jord, mod kælder eller krybekæl-
der.

Der er gennem projektet opnået en bedre forståelse af nødvendige og til-
strækkelige krav til materialesystemer anvendt til radonsikring, hvor radon-
sikringen udføres ved at gøre konstruktioner mere lufttætte mod undergrun-
den. Der bør stilles krav til dokumentation af systemløsningernes ydeevne
samt de enkelte komponenters materialeegenskaber, når materialesystemer
anvendes i forbindelse med radonsikring af bygninger.

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet, har gennem-
ført prøvningerne med økonomisk støtte fra Realdania. Selve arbejdet med
at lægge membransystemerne i prøvestanden er udført af de enkelte leve-
randører af membransystemerne. SBI takker for den økonomiske støtte til
projektet og samarbejdet i laboratoriet med leverandørerne af de enkelte sy-
stemløsninger.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Byggeteknik og proces
September 2018

Ruut Peuhkuri
Forskningschef

Indledning

Baggrund

Radon er en naturlig forekommende radioaktiv gas, der findes overalt i jorden. Radon trænger ind i bygninger med poreluft fra jorden, jordluft, som suges ind gennem luftutætheder som revner og sprækker i konstruktioner mod jord, fx kældergulv, -væg og terrændæk. Den radonholdige luft fordeles i bygningen med de indvendige luftstrømme. Radon kan også trænge gennem lufttætte konstruktioner ved diffusion. Ligeledes kan byggematerialer indeholde radon, og radon kan frigives fra vand som føres ind i bygningen.

Bidrag fra diffusion gennem lufttætte konstruktioner mod undergrunden, byggematerialer og forstøvning af vand er dog typisk yderst begrænset.

Det er almindeligt kendt, at radon i indeluften forøger risikoen for lungekræft. Verdenssundhedsorganisationen, WHO, anbefaler, at radioaktiviteten i bygninger fra radon ligger under 100 Bq/m^3 (becquerel per kubikmeter luft). Indånding af radon er ifølge WHO den vigtigste årsag til udvikling af lungekræft hos mennesker næst efter rygning. Rygning øger risikoen for udvikling af radonrelateret lungekræft (Zeeb and Shannoun, 2009).

Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) og senere bygningsreglementer følger WHO's anbefalinger om, at den tilladte radioaktivitet i bygninger fra naturlige kilder bør ligge under 100 Bq/m^3 .

Bygningsreglement 2010 stiller krav til radonindholdet i indeluften i nybyggeri og angiver anbefalinger til niveauet for et acceptabelt radonindhold i indeluften i eksisterende bygninger. Bygninger skal udføres, så det sikres, at indholdet af radon i indeluften ikke overstiger 100 Bq/m^3 . For eksisterende bygninger anbefales, at der etableres enkle og billige foranstaltninger, hvis indholdet af radon i indeluften ligger mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 . Måles indholdet af radon i indeluften til over 200 Bq/m^3 , anbefales det, at der iværksættes mere effektive foranstaltninger til reduktion af radon i indeluften.

Kravet til nye bygninger og anbefalingerne til eksisterende bygninger er videreført i Bygningsreglement 2015 (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015) og Bygningsreglement 2018 (Trafik- og Byggestyrelsen, 2017).

Et referenceniveau svarende til 100 Bq/m^3 blev indført i Danmark i 2018. Det betyder, at et radonindhold i indeluften, som er højere end 100 Bq/m^3 , betragtes som u hensigtsmæssigt, og at man skal vurdere, om det med rimelige midler kan bringes til under referenceniveauet (Sundheds- og Ældreministeriet, 2018a). Sundhedsstyrelsen vejleder om de hensyn, der kan være relevante at tage i betragtning, når omfanget af radonsænkende tiltag skal vægtes i forhold til det målte radonindhold og referenceniveauet. Referenceniveauet er indført ved implementeringen af *Strålebeskyttelsesdirektivet, 2013/59/EURATOM af 5. december 2013* (Rådet for den europæiske union, 2013). Implementeringen er sket ved *Lov om ioniserende stråling og strålebeskyttelse (strålebeskyttelsesloven)* (Sundheds- og Ældreministeriet, 2018b) og *Bekendtgørelse om ioniserende stråling og strålebeskyttelse* (Sundheds- og Ældreministeriet, 2018a). Sundhedsstyrelsen fastsætter regler om lovens bestemmelser og definerer, hvilke bygninger referenceniveauet gælder for.

Mål

Formålet med prøvningerne er at vurdere lufttætheden af forskellige membransystemer, som ønskes anvendt til radonsikring af bygninger. De prøvede materialer anses for at være membransystemer, som kan anvendes i forbindelse med radonsikring af konstruktioner. Prøvningerne viser membransystemernes evne til at forhindre radonindtrængning. Vurderingen af membransystemerne er sket med udgangspunkt i en konstruktion, der er typisk for et enfamiliehus, og som har et realistisk antal indadgående og udadgående hjørner, forhøjninger og gennemføringer. Det er således membransystemernes enkelte materials ydeevne i forhold til lufttæthed og deres indbyrdes samlinger og samlinger omkring rør og gennemføringer, der prøves. Materialerne prøves som et system, der består af membraner, samlinger og tilslutninger. Det betyder, at det er systemets lufttæthed, der testes, og ikke blot de enkelte materials lufttæthed. Lufttætheden af systemløsningen vurderes, fordi radonholdig luft, som føres med luftstrømme fra jord, kan have afgørende betydning for indholdet af radon i indeluften.

Metodens anvendelsesområde

Metoden er egnet til at prøve, hvor godt et membransystem, der består af membraner, samlinger og tilslutninger, er til at lufttætte en flade med indadgående hjørner, udadgående hjørner og forhøjninger samt omkring gennemføringer i form af rør og riste. Antal indadgående hjørner, udadgående hjørner, forhøjninger og gennemføringer skal simulere de udfordringer, der vil være ved udførelse af radonsikring med membransystemer af et hus med et grundareal på ca. 100 m². Metoden omfatter ikke indtrængning af radon ved diffusion.

Testmaterialer

Der findes en lang række materialer, der kan anvendes til at radonsikre bygninger ved at gøre konstruktioner mere lufttætte, fx membraner, der er flydende, faste eller formbare hydraulisk afbindende. Fælles for disse materialer til lufttætning af konstruktioner er, at de indbyrdes skal samles og skal samles til gennemføringer og den øvrige konstruktion. Membraner, samlinger og tilslutninger udgør til sammen et membransystem.

Prøvninger omfatter følgende typer af materialer anvendt som membransystem:

- Hydraulisk afbindende membran med akrylfugemasse
- Fast bitumenbaseret membran med to-komponent flydeforsegler
- Hydraulisk afbindende, armeret hæftemørtelpuds med akrylfugemasse
- En-komponent flydemembran med kantforstærkninger, epoxyprimer og elastiske rørmanchetter
- To-komponent hydraulisk afbindende membran med kantforstærkninger, epoxyprimer og elastiske rørmanchetter
- Foliesystem bestående af fiberdug i to-komponent hydraulisk afbindende smørremembran med kantforstærkninger, epoxyprimer og elastiske rørmanchetter
- Polyethylenmembran med fast tape, akryl primer og elastiske rørmanchetter
- Polyethylenmembran med fast tape, akryl klæber, akryl primer og elastiske rørmanchetter
- Støjdæpende alufoliebelagt gulvunderlag med fast alu butyl tape, primer, elastiske rørmanchetter og en-komponent flydemembran
- Støjdæpende alufoliebelagt gulvunderlag med fast alu butyl tape, akryl klæber, primer, elastiske rørmanchetter og en-komponent flydemembran.

Sammenfatning

Formål

Formålet med at gennemføre prøvningerne er at igangsætte og udbrede kendskabet til prøvning af materialer til radonsikring. Netop ved prøvning af de enkelte membransystemer er det muligt for bygherre at tilegne sig den nødvendige viden til at vurdere, om et membransystem er egnet til radonsikring. Prøvningen kan vise, hvor effektivt et membransystem er i stand til at forhindre radonindtrængning. Prøvningen tilbydes leverandører af membransystemer. Prøvningen resulterer i en prøvningsrapport, som dokumenterer, hvor effektivt systemet tætnet mod luftgennemtrængning. Bygherrer kan således efterspørge en sådan dokumentation. Prøvningen har således til hensigt at hjælpe bygherrer til lettere at kunne vælge mellem de mange membransystemer, der potentielt kan anvendes til radonsikring ved lufttætning af konstruktioner.

Prøvning

Prøvninger er udført i overensstemmelse med prøvningsmetoden *Lufttæthed af materialer til radonsikring – Testmetode* (SBI 2016:021) (Rasmussen & Cornelius, 2016). Prøvningsmetoden kan anvendes til at afprøve effektiviteten af membransystemer anvendt til radonsikring. Prøvningsmetoden kan anvendes til at vurdere et membransystems modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m² og er en videreudvikling af prøvningsmetoden NBI 167/02, *Radonmembran: Prøving af lufttæthed* (SINTEF Byggeforsk, 2016). Prøvningen inkluderer lufttætning omkring gennemføringer samt lufttætning af indad- og udadgående hjørner.

Der er gennemført prøvning af ti forskellige membransystemer. Prøvningsresultaterne resulterede i følgende vurderinger af de enkelte membransystemers evne til at være i stand til at reducere indtrængningen af radon. Membransystemerne er vurderet ud fra luftstrømsmålinger for membransystemer ved en lufttryksforskel over membransystemet på 30 Pa, angivet ved q_{30} .

Membransystemerne inddeles efter q_{30} -værdien i fire klasser, hvor klasse 1 er de bedst egnede i forhold til at forhindre indtrængning af radon ved konvektion. Klasse 1 er tilnærmelsesvis lufttætte membransystemer, klasse 2 er meget lufttætte membransystemer, klasse 3 er membransystemer, der yder en middel lufttæthed, og klasse 4 er membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed og derved kan yde en mindre beskyttelse mod indtrængning af radon. Et membransystem, som ikke kan klassificeres i klasse 4 eller bedre, kan ikke betragtes som et membransystem, der kan reducere indtrængning af radon. Tabel 1 viser de prøvede membransystemer inddelt i klasserne 1 til 4 samt membransystemer uden for en klasse (U-klasse).

Tabel 1. Membransystemer inddelt i klasse 1 til 4 samt membransystemer, der ikke er egnede til at reducere indtrængning af radon.

Membransystem	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	U-klasse
Puds					
Bitumen membran					
Armeret puds					
En-komponent flyde-membran					
To-komponent flyde-membran					
Foliesystem med fiberdug					
Polyethylen membran					
Polyethylen membran m. dispersions klæber					
Gulvunderlag					
Gulvunderlag med dispersionsklæber					

Resultaterne er beregnet ud fra et middellufttryk i prøvestanden i forhold til atmosfæren på 30 Pa. På den måde opnås en præcis angivelse af membransystemets lufttæthed i forhold til det angivne referencelufttryk på 30 Pa.

Konklusion

Der er anvendt en standardiseret metode til prøvning af membransystemer, der ønskes anvendt til radonsikring. Prøvningsmetoden er nærmere beskrevet i SBI-rapporten SBI 2016:21, *Lufttæthed af materialer til radonsikring – Testmetode* (Rasmussen & Cornelius, 2016). Prøvningsmetoden anvendes til materialer og systemløsninger, der ønskes anvendt til radonsikringen, der udføres ved at reducere luftindtrængning til indeklimaet. Prøvningen inkluderer lufttætheden af selve membranerne, samlingerne mellem membraner og omkring gennemføringer i form af rør og riste samt lufttætheden af indad- og udadgående hjørner.

Metoden anvendes til at vurdere et membransystems modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m².

Prøvningerne viser, at metoden kan anvendes til at dokumentere effekten af tiltag til radonsikring, hvor radonsikringen udføres som en lufttætning af konstruktionerne. Dokumentation kan vise et radon tiltags evne til at etablere lufttætning af vægge og gulve, inklusiv lufttætning omkring gennemføringer i form af rør og riste. Prøvningen dokumenterer et membransystems evne til at reducere indtrængningen af radon. Luftstrømsmålinger for membransystemer ved en lufttryksforskel over Membransystemet på 30 Pa anvendes som grundlag for vurderingerne. Membransystemerne opdeles i fire klasser på baggrund af deres evne til at lufttætte. Klasse 1 er tilnærmelsesvis lufttætte membransystemer, klasse 2 er meget lufttætte membransystemer, klasse 3 er membransystemer, der yder en middel lufttæthed, og klasse 4 er membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed og derved kan yde en mindre beskyttelse mod indtrængning af radon. På den baggrund kan en bygherre vælge en radonsikring på et oplyst grundlag. Membransystemer, som ikke kan klassificeres i en af de fire klasser, kan ikke betragtes som et membransystem, der kan reducere indtrængning af radon ved konvektion. Resultaterne viser, at selve membranen har stor betydning for den

opnåede lufttætning. Ligeledes viser resultaterne fra prøvningerne, at selv ved anvendelse af meget lufttætte membraner har samlinger mellem membranbanerne og mod andre elementer stor betydning for systemets samlede lufttæthed. Valget af materialer til lufttætning omkring gennemføringer som for eksempel rør og riste samt lufttætning af indad- og udadgående hjørner, samt lufttætningen mod tilstødende bygningsdele har stor betydning for systemløsningens samlede evne til at lufttætte en konstruktion.

Prøvningen kan dokumentere, om de valgte materialer anvendt som en samlet systemløsning er egnet til radonsikring, hvor sikringen udføres som en lufttætning af konstruktionerne. De enkelte materialer kan i sig selv være meget lufttætte, men som et samlet system er det helt afgørende for membransystemets samlede ydeevne, at samlinger kan udføres på en måde, således at de forbliver samlet med en tilstrækkelig lufttæthed. Ofte resulterer spændinger i samlinger mellem materialer i spændingsrelaksation og sammentrækninger, og det medfører, at samlinger med tiden åbner sig. Det sker typisk omkring folder i folier, eller hvor materialerne ved udlægning er struktureret, eller hvor samlede materialer har forskellig temperaturudvidelseskoefficient, eller ved opfugtning eller udtørring, der skaber differensbevægelser. Dokumentation for systemløsningerne er således vigtig, når man skal vurdere, om et membransystem udført ved lufttætning af en konstruktion yder den effekt, systemet forventes at skulle yde i forhold til indtrængningen af radon til indeklimaet.

Øvrige krav til materialer egnet til radonsikring

Materialernes brandtekniske egenskaber er ikke en del af prøvningen. Der stilles ikke specifikke brandtekniske krav til materialer anvendt til radonsikring. Ud over at det valgte membransystem anvendt til radonsikring skal være egnet i forhold til lufttæthed, skal systemets dele også være uopløselige og kemisk forenelige indbyrdes og med de øvrige materialer i bygningen. Anvendes flere forskellige membrantyper, skal samlingsmaterialet hæfte godt og bibeholde den opnåede lufttæthed i samlinger. Man skal være specielt opmærksom på, om materialerne kan opløse eller nedbryde hinanden. De bør desuden være miljøvenlige, når de opbevares og håndteres, mens bygningen bruges og senere rives ned, så materialerne kan bortskaffes. For at undgå indeklimaproblemer, må de anvendte materialer ikke afgive lugt eller kemiske forbindelser, der kan forringe indeklimaet.

Delene i det valgte membransystem skal kunne arbejde sammen indbyrdes og med de øvrige materialer og konstruktioner i bygningen under de temperatur- og fugtpåvirkninger, som måtte opstå under arbejdet og i bygningens brugstid. Derudover skal de kunne fungere i hele bygningens levetid eller let kunne vedligeholdes eller udskiftes. Eventuel vedligehold og udskiftning af komponenter, der sikrer radonsikringens ydeevne, bør være behandlet i en plan for drift og vedligehold. Det kan fx gælde udskiftning af fuger eller behovet for at gentage overfladebehandling efter en tid pga. almindeligt slid. Det bør dokumenteres, at materialerne til radonsikring er tilstrækkeligt robuste til den udførte håndtering. Producentens og leverandørens anvisninger bør følges.

Behovet for vedligeholdelse afhænger af de materialer, der anvendes. Mekanisk slid, fugt, udtørring, temperatur og UV-belastning kan medføre nedbrydning af membransystemer.

I Danmark er der i dag ikke krav om, at der skal anvendes godkendte eller dokumenterede systemløsninger, eller at materialerne skal være specielt godkendt til radonsikring. Resultatet af prøvningen viser membransystemets dokumenterede egnethed i forhold til radonsikring udført ved lufttætning af konstruktioner. Prøvningen er det nærmeste man kommer en dokumentation

af systemets ydeevne. Membransystemer kan inkludere samlinger i materialer og faste manchetter til lufttætning omkring gennemføringer. Ligeledes kan elastisk fuge, elastiske gummiringe, propper, fugebånd eller flexbånd indgå.

Membransystemer

Prøvningerne omfatter en række systemløsninger på det danske marked til sikring mod indtrængning af radon til indeklimaet. Membransystemerne er herunder beskrevet generisk individuelt. Leverandøren kan forevise dokumentation for prøvning.

System A

Hydraulisk afbindende membran, pudsmembran også anvendt som vådrumsmembran. Akrylfugemasse anvendt som tætningsmasse til lufttætning omkring gennemføringer samt lufttætning af indad- og udadgende hjørner.

System B

Fast bitumenbaseret membran markedsført som gulv- og radonspærre. To-komponent selv-nivilerende, flydende tætningsmasse anvendt omkring gennemføringer. Efter hærdning forbliver tætningsmassen efter producentens oplysninger elastisk i mindst 50 år.

System C

Hydraulisk afbindende, armeret pudsmembran. Akrylfugemasse anvendt som tætningsmasse til lufttætning omkring gennemføringer samt lufttætning af indad- og udadgende hjørner.

System D

Flydende en-komponent membran – også anvendt som vandtætningsmembran. Primer, foliebånd og to-lag armeringsvæv mættet med vandtætningsmembran ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System E

To-komponent hydraulisk afbindende membran – også anvendt som vandtætningsmembran i vådrumssystem. Primer, foliebånd, folielim og et-lags armeringsvæv mættet med vandtætningsmembran ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System F

Fast membran kombineret med hydraulisk afbindende to-komponent membran – også anvendt til vandtætning af vådrum. Primer, foliebånd, folielim, armeringsvæv mættet med to-komponent vandtætningsmembran ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System G

Fast membran af polyethylenfolie. Akrylprimer og trådarmeret tape af polyethylenfolie med akrylklæber anvendt ved samling af folie og ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System H

Fast membran af polyethylenfolie. Akrylprimer, trådarmeret tape af polyethylenfolie med akrylklæber og akryl-dispersionsklæber anvendt ved samling af folie og ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System I

Fast membran med støjdæmpende underside på underlag af plastfolie med overlag af alufolie, markedsført som gulvunderlag. Primer, alu-

butyltape og vandtætningsmembran ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

System J

Fast membran med støjdæmpende underside på underlag af plastfolie med overlag af alufolie, markedsført som gulvunderlag. Primer, alubutyltape, akryl-dispersionsklæber anvendt ved samling af folie og vandtætningsmembran ved tilslutning til elastiske rørmanchetter samt til lufttætning omkring tætsiddende gennemføringer og af indad- og udadgende hjørner.

Prøvningsmetode

Den anvendte prøvningsmetode er beskrevet i SBI-rapporten SBI 2016:21, *Lufttæthed af materialer til radonsikring – Testmetode*.

Prøvningsmetoden er en videreudvikling af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, *Radonmembran: Prøving av lufttæthed*, februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016).

Metoden går ud på at vurdere luftgennemstrømningen gennem membransystemet, som ønskes anvendt til sikring mod indtrængning af radon. Leverandøren/rekvirenten af membransystemet lægger materialet i prøvestanden og udfører lufttætningen omkring gennemføringerne.

Anvendelsesområde

Prøvningen anvendes til at vurdere et membransystem, der ønskes anvendt til beskyttelse mod indtrængning af radon, når materialet er placeret mod fast underlag, lodrette flader og dæk. Det faste underlag er udført med forhøjninger og gennemføringer. Sikringen mod indtrængning af radon vurderes i forhold til, at membransystemet skal kunne føres over forhøjninger samt omkring rørgennemføringer og udsparinger. De lodrette flader er udført som flader samlet i indadgående og udadgående hjørner.

Prøvning

Ved prøvningen logges sammenhørende værdier af lufttryksforskellen mellem det lukkede volumen i prøvestanden og atmosfæren samt den tilhørende luftstrøm. Lufttrykket bestemmes ud fra lufttryksmålinger foretaget over membransystemet flere steder i prøvestanden. Under prøvningen styres lufttryksforskellen automatisk for at opretholde en konstant lufttryksforskel. Der logges automatisk sammenhørende værdier af lufttryksforskellen mellem det lukkede volumen i prøvestanden og atmosfæren samt den tilhørende luftstrøm. Prøvningen gennemføres for lufttryksforskelle på 30, 50, 70 og 90 Pa, styret ved hjælp af lufttrykmåleren placeret i P1, se figur 2.

Princip

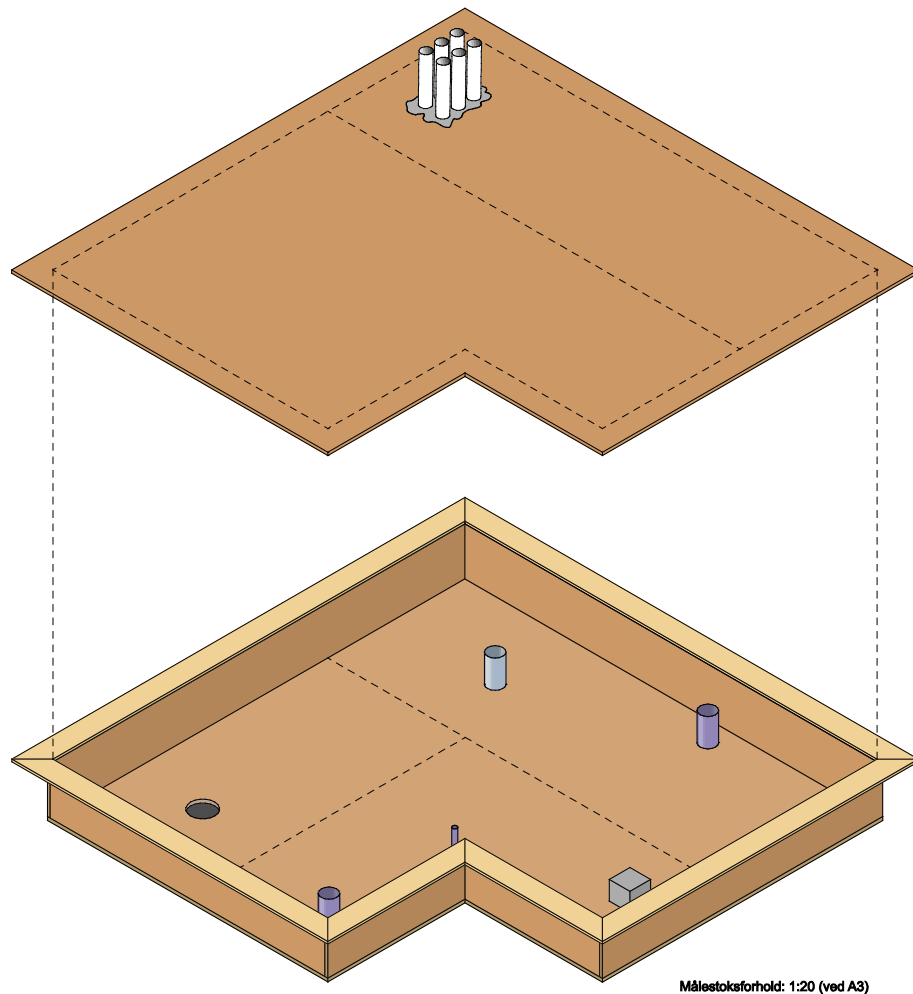
Prøvestanden er udformet som en kasse. Prøvningen udføres, ved at materialet til radonsikring monteres på indersiden af prøvestanden, som er udformet som en kasse. Prøvestanden fyldes derpå med trykfast isoleringsmateriale til varmeisolering. Over den trykfaste isolering lægges membransystemet til radonsikring. Membransystemet til radonsikring lukker dermed prøvevolumenet i prøvestanden ved at samle radonsikringen langs de indvendige sider i prøvestanden med den radonsikring, der er lagt over den trykfaste isolering langs hele randen af prøvestanden. Randen er den kant, som omkranser prøvestandens sider og danner en vandret monteringsflade for samling af membransystemet anvendt til radonsikring.

Membransystemet til radonsikring vendes ved monteringen i prøvestanden, således at materialets overside vender ind i prøvevolumenet.

Prøvestanden

Membransystemet til radonsikring monteres i bunden af prøvestanden, på siderne og på oversiden af den trykfaste isolering og samles derefter langs

randen. Membransystemet inkluderer gennemføringer samt indad- og udadgående hjørner, se figur 1.



Figur 1. Prøvestand til måling af lufttæthed af membransystemer til radonsikring. Eventuelle samlinger i membranen er vist med stiplede linjer. Prøvestanden er vist med placering af hjørner, opkanter og gennemføringer.

Flydemembraner og membransystemer som klæbes til underlaget lægges i prøvestanden på en fiberdug, der er monteret forud for montering af membransystemet. Fiberdugen lægges i prøvestanden og på prøvestandens vandrette rand. Fiberdug lægges også på oversiden af den trykfaste isolering.

Gennemføringer

Følgende gennemføringer er monteret i bunden af prøvningstanden:

- Plastrør med en diameter på 32 mm
- Plastrør med en diameter på 110 mm
- Plastrør ved kanten af prøvestandens inderside med en diameter på 110 mm
- Stålrør med en diameter på 110 mm.

Membransystemet, som lægges i bunden af prøvestanden, monteres omkring disse gennemføringer. Yderligere testes membransystemet mod gulv også for lufttæthed omkring en udsparring til en rist i bunden af prøvestanden med en diameter på ca. 175 mm.

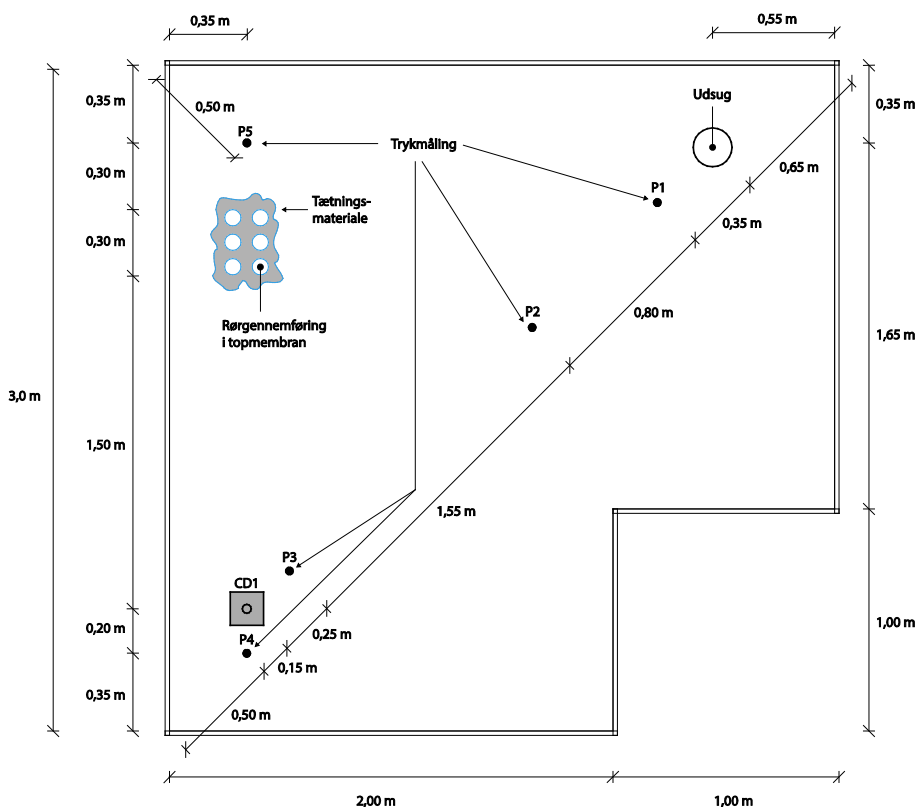
Efter membransystemet er monteret på prøvestandens overside, monteres seks tæt placerede gennemføringer i form af elektrikerplastrør hver med en diameter på 32 mm. Denne samling lufttættes efterfølgende efter leverandørens anvisninger.

Måling af lufttæthed

Der monteres et udsug i membransystemet på prøvestandens overside i membransystemet til radonsikring over den trykfaste isolering. Udsuget anvendes til at pumpe luft ud af prøvevolumenet. Herudover monteres fem slanger, som kobles til en lufttrykdifferensmåler, således at lufttryksforskellen mellem luften inde i prøvevolumenet og luften udenfor prøvevolumenet, atmosfæren, kan bestemmes. Ved udpumpning af luft fra prøvevolumenet reguleres luftstrømmen, indtil lufttryksforskellen har stabiliseret sig til de for prøvningen valgte niveauer. Herefter registreres sammenhørende værdier for luftstrømmen og den opnåede lufttrykforskel mellem luften inde i prøvevolumenet og luften udenfor prøvevolumenet. Der gennemføres målinger ved flere lufttryksforskelle mellem luften inde i prøvevolumenet og luften udenfor prøvevolumenet.

I membransystemet på prøvestandens overside monteres en blænde-skive med fire åbninger, som kan åbnes og lukkes. Åbningerne har en diameter på henholdsvis 7, 10, 14 og 20 mm. Proceduren til bestemmelse af sammenhørende værdier for luftstrøm og differenslufttryk gentages for forskellige åbninger.

Luftudsuget og blændeskiven (CD1) placeres langs den lange diagonal i prøvestanden med en indbyrdes afstand på ca. 3 m, se figur 2.



Figur 2. Placering af luftudtag, blændeskiver med forskellige åbninger og punkter for lufttrykmåling på prøvestandens øvre membransystem.

De fem slanger til måling af lufttryk (P1 til P5) monteres i prøvestandens øvre membransystem som vist på figur 2. Forsøget styres efter lufttrykmålingen nærmest udsuget (P1), mens de fire andre målinger af lufttryk anvendes til at kalibrere resultatet i forhold til det udbredte lufttryk i det omsluttende prøvevolumen, da trykket i prøvestanden ikke er homogent fordelt i prøvevolumenet.

Luftstrømmen ved en lufttryksforskel på 30 Pa mellem luften i prøvevolumenet og luften udenfor prøvevolumenet, atmosfæren, bestemmes ved interpolation.

Prøvetagning

Membransystemer monteres i prøvestanden af leverandøren/rekvirenten i SBI's laboratorie. Leverandørens anvisninger følges i forbindelse med hjørnesamlinger og samlinger omkring rør, gennemføringer og riste.

Klargøring af prøvning

Måling af lufttætheden starter tidligst 40 timer efter montering af membransystemet er gjort færdigt i prøvestanden. Selve prøvningen påbegyndes tidligst 40 timer efter montering for at sikre, at de anvendte membraner og samlingerne mellem membranerne er spændingsfrie.

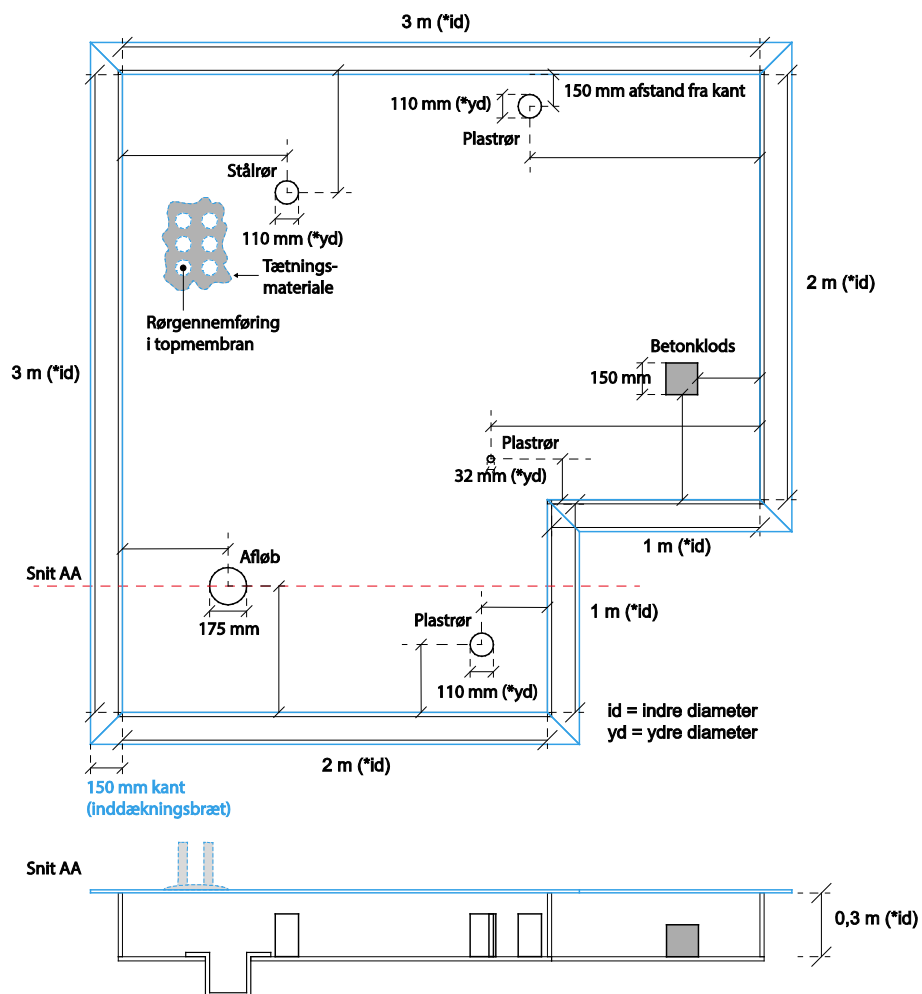
Udførelse af prøvning

Prøvestanden placeres på et fast, plant og vandret underlag.

Prøvningen gennemføres i et tørt tempereret rum med en temperatur på mellem 17 og 25 grader celsius og en relativ luftfugtighed på mellem 15 og 65 %. Der kan dog være kortere perioder med mindre afvigelser i temperaturer og relativ luftfugtighed ud over de angivne intervaller.

Apparatur

Prøvestanden er vist i figur 1. Samlinger er vist med stiplede linjer. Ligeledes er placeringen af hjørner og gennemføringer vist. Prøvestanden er vist i målfast vandret og lodret snit i figur 3.



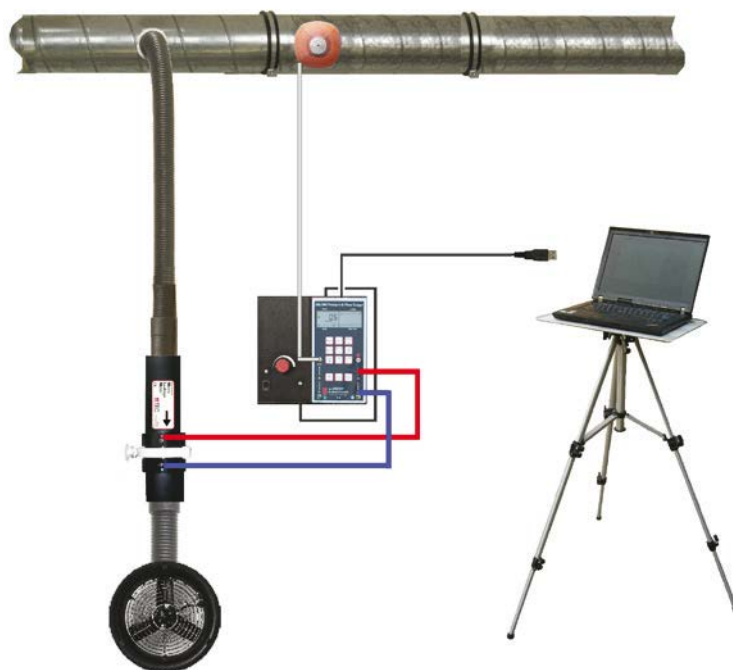
Figur 3. Prøvestand vist i vandret og lodret snit med mål på placering af rør og afløb.

Udpumpning af luft fra prøvevolumenet foretages med en ventilator, hvis rotation styres ved hjælp af en PC. Registrering af sammenhængende værdier

for luftstrøm og differenslufttryk, lufttryksforskellen mellem luften i prøvevolumenet og den omgivende luft, atmosfæren, foretages ved hjælp af en PC tilsluttet en differensstrykmåler. PC-programmet, der anvendes, er TECLOC3 fra BlowerDoor GmbH.

Yderligere består apparaturet af:

- En ventilator
- En differensstrykmåler monteret foran ventilatoren, der benyttes til at bestemme lufthastigheden gennem ventilator, se figur 4
- Differensstrykmåler, der monteres til det fri, atmosfæren, og til prøvevolumenet i prøvestanden og måler lufttryksforskellen mellem det fri, atmosfæren og lufttrykket i prøvevolumenet. Differenstryk måles i 5 punkter (P1 til P5), se figur 2.
- Slanger, der tilsluttes Minneapolis Micro Leakage Meter, typen FD E51-767, se figur 4 og figur 5. Minneapolis Micro Leakage Meter, typen FD E51-767 inklusiv blænder, se figur 5, kan måle luftmængder fra 0,09 til 79 m³/h.



Figur 4. Minneapolis Micro Leakage Meter, type FD E51-767.



Figur 5. Enhed til bestemmelse af luftstrømmen, der pumpes ud af prøvevolumenet. Luftstrømmen over blænderen måles.

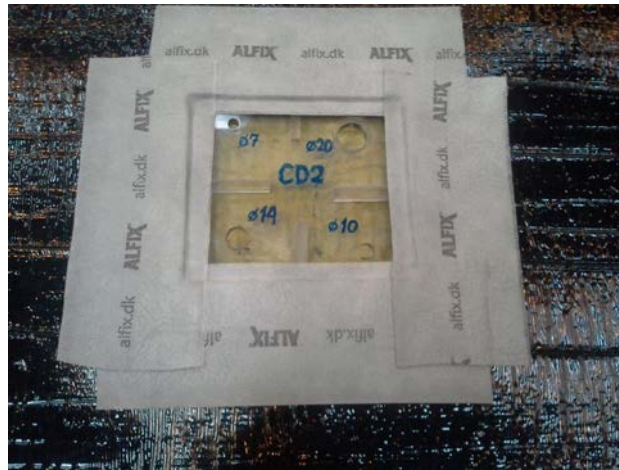
Derudover består apparaturet af:

- Lufttæt monteringsstape
- Blændeskiver foran ventilator med hulstørrelsen 3,8; 8,0; 20 og 45 mm, se figur 5.
- En blændeskive (CD1) monteret i prøvestandens øvre membransystem med en hulstørrelse på henholdsvis 7, 10, 14 og 20 mm, se figur 2.

Blændeskiver anvendes til at regulere lufthastigheden gennem prøvestanden.

Foran ventilatoren er en af de fire blændeskiver placeret, se figur 5. Ved prøvning af meget lufttætte membransystemer anvendes større blænde for mere nøjagtigt resultat. Der skal anvendes den samme blænde ved ventilatoren under hele prøvningen.

I prøvestandens øvre membransystem skal der placeres en blændeskive med fire hulstørrelser (CD1, se figur 2), så der kan gennemføres målinger ved forskellige åbninger op til et åbent areal på ca. 600 mm², se figur 6. Der gennemføres prøvninger med flere forskellige åbninger i prøvestandens øvre membransystem.



Figur 6. Blændeskive placeret i prøvestandens øvre membransystem. De enkelte huller kan blændes med tape, hvorved forskellige kombinationer af åbninger kan etableres.

Eksempel

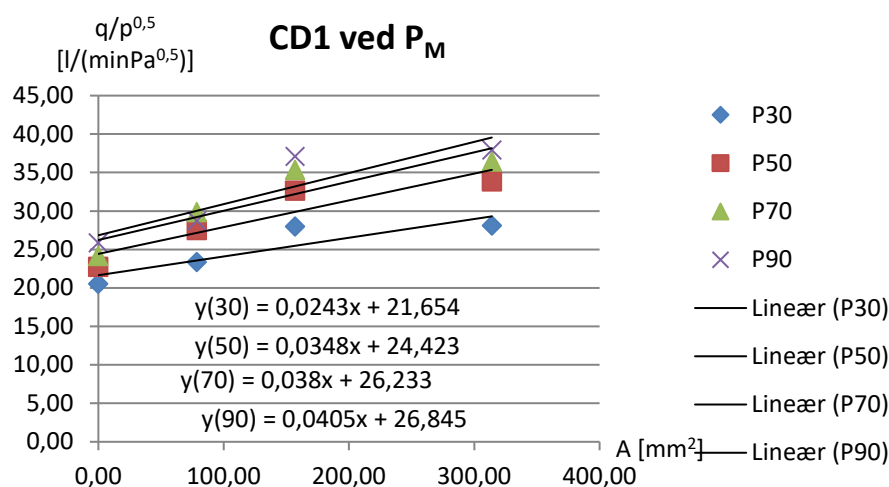
I dette eksempel er der gennemført en måling på en membran udført med system G og H. Den anvendte membran i de to membransystemer er den samme, mens den anvendte klæber til samlinger er forskellig. Der er anvendt henholdsvis tape og tapede samlinger med akryl-dirsperionsklæber som mellemlæg.

Luftstrømmen er bestemt ved de fire forskellige lufttrykforskelle mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren. De fire forskellige lufttrykforskelle er 30 Pa, 50 Pa, 70 Pa og 90 Pa, styret ved differenslufttrykmåleren placeret i P1, se figur 2.

For hvert niveau af differenslufttryk er foretaget flere målinger, hvor der etableres forskellige supplerende åbninger i membransystemets overside ved at åbne kombinationer af åbninger i blændeskiven placeret i membransystemets overside.

Under alle målinger registreres åbningen (A [mm^2]) med sammenhørende målte differenslufttryk i alle målepunkter (P1 til P5 [Pa]) samt den målte luftstrøm (q [l/min]) gennem udsuget.

Den relative luftstrøm som funktion af åbningsarealerne er vist for system G i figur 7 og for system H i figur 8.



Figur 7. Relativ luftstrøm målt for system G ved forskellige blændeåbninger (A) og ved forskellige differenslufttryk, dvs. lufttrykforskelle mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren.

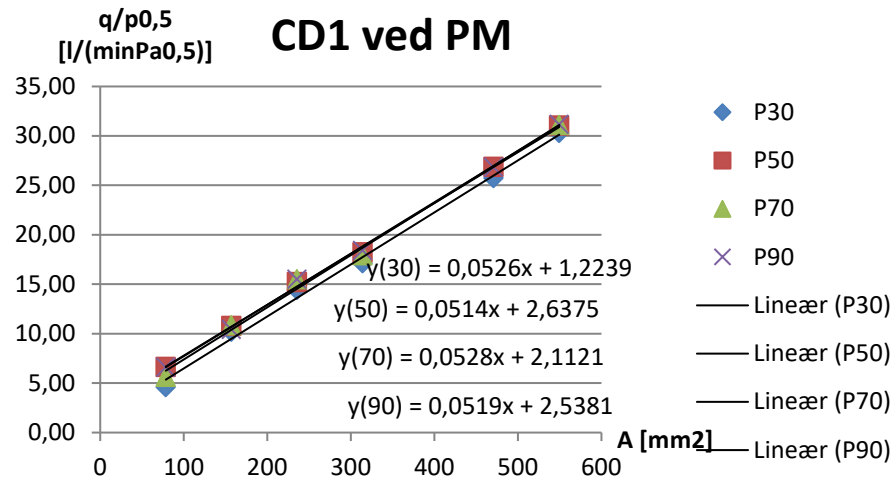
Resultatet af prøvningen for system G angivet ved et differenslufttryk på 30 Pa, hvilket er luftstrømmen gennem det afprøvede system G, fås til:

$$q_{30} = (0,1423 \cdot 30 + 19,922)\sqrt{30} = 132,8 \text{ l/min}$$

Luftgennemstrømningen q_{30} svarer til en luftgennemstrømning i et 100 m^2 hus med et differenstryk mellem lige over nederste gulv og ude, atmosfæren, på mellem 1 til 4 Pa.

Resultatet er fremkommet af måleresultater vist i figur 7 ovenfor, hvor skæringen med y-aksen, b [$\text{l}/\text{minPa}^{0,5}$], resulterer i følgende kalibreringsudtryk:

$$b = 0,1423P + 19,922$$



Figur 8. Relativ luftstrøm for system H målt ved forskellige blændeåbninger (A) og ved forskellige differenslufttryk, dvs. lufttrykforskelle mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren.

Resultatet af prøvningen for system H angivet ved et differenslufttryk på 30 Pa, hvilket er luftstrømmen gennem det afprøvede system H, fås til:

$$q_{30} = (0,0178 \cdot 30 + 1,095)\sqrt{30} = 8,9 \text{ l/min}$$

Luftgennemstrømningen, q_{30} , svarer til en luftgennemstrømning i et 100 m² hus med et differenstryk på mellem 1 til 4 Pa.

Resultatet er fremkommet af måleresultater vist i figur 8 ovenfor, hvor skæringen med y-aksen, b [l/minPa^{0,5}], resulterer i følgende kalibreringsudtryk:

$$b = 0,0178P + 1,095$$

b er et udtryk for den relative luftstrøm gennem membransystemet, hvoraf luftstrømmen for ethvert differenstryk kan bestemmes af:

$$q_P = b\sqrt{P}$$

Resultater

Ved prøvningen bestemmes luftgennemstrømningen, q_{30} , svarerende til en luftgennemstrømning i et 100 m² hus med et differenstryk mellem lige over nederste gulv og ude, atmosfæren, på mellem 1 til 4 Pa.

Ligeledes bestemmes parameteren b . Parameteren b er et udtryk for den relative luftstrøm gennem membransystemet. b bestemmes ved lineær regression gennem de målte relative luftstrømme ved de forskellige differenslufttryk som funktion af tilhørende åbningsarealer. b udtrykkes ved hældningen α og konstanten b_0 .

Resultaterne for de enkelte prøvninger er vist i tabel 2. Prøvningsresultaterne er angivet som luftstrømmen i l/min ved en lufttrykforskel, differenslufttryk, mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren, på 30 Pa, q_{30} . Ligeledes er skæringen med y-aksen, b [$l/minPa^{0.5}$] givet ved α og b_0 , vist.

Tabel 2. Luftstrømmen i l/min for de prøvede membransystemer ved en lufttrykforskel, differenslufttryk, mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren, på 30 Pa, q_{30} . Skæringen med y-aksen, b [$l/minPa^{0.5}$] givet ved α og b_0 , er ligeledes vist.

System	q_{30} [l/min]	α [$l/(minPa^{0.5}Pa)$]	b_0 [$l/minPa^{0.5}$]
A	12	0,0006	2,01
B	1,9	0,011	0
C	29	0,01	5,01
D	4,8	0,0146	0,431
E	4,7	0,014	0,439
F	12,6	0,0221	1,637
G	132	0,1423	19,97
H	8,9	0,0178	1,095
I	63,9	0,0492	10,19
J	16,6	0,0368	1,9348

Måleusikkerheden er på luftstrømmen ± 2 %, hvilket svarer til $\pm 0,9$ til ± 3 l/min, differenstrykket: ± 2 %, hvilket svarer til $\pm 0,5$ til ± 2 Pa og på arealet ± 1 %, hvilket svarer til ± 1 til ± 6 mm².

Diskusion

En standardiseret metode er anvendt til prøvning af membransystemer, der på det danske marked udbydes anvendt til radonsikring. Prøvningsmetoden anvendes til materialer og systemløsninger, der ønskes anvendt til radonsikring, der udføres ved at reducere luftindtrængning til indeklimaet. Prøvningen tester lufttætheden af systemløsningen og omfatter således selve membraner, samlingerne mellem membraner og samlingerne omkring gennemføringer i form af rør og riste samt lufttætheden af indad- og udadgående hjørner. Prøvningsmetoden er nærmere beskrevet i SBI-rapporten SBI 2016:21 *Lufttæthed af materialer til radonsikring – Testmetode* (Rasmussen & Cornelius, 2016).

Prøvningsmetoden anvendes til at vurdere et membransystems modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m².

Prøvningen er en måling af membransystemets lufttæthed som bestemmes ved en luftstrømsmåling. Luftstrømsmålinger for membransystemer ved en lufttryksforskel over membransystemet på 30 Pa, anvendes til bestemmelsen af værdien der angiver membransystems evne til at være istand til at reducere indtrængningen af radon.

Prøvningerne gennemført i denne undersøgelse har vist sig at give væsentligt forskellige resultater afhængig af membrantype og valg af monteringsmetode og materialer til samlinger i selve membransystemet og mellem membranen og gennemføringer i form af riste og rør.

Ved prøvningen bestemmes luftstrømmen gennem membransystemet. b er den relative luftstrøm gennem membransystemet. Ud fra den relative luftstrøm gennem membransystemet kan luftstrømmen for ethvert differenstryk bestemmes. b bestemmes ved at de målte relative luftstrømme ved de forskellige differenslufttryk afbildes i et diagram som funktion af tilhørende åbningsarealer. Ved hjælp af lineær regression bestemmes b som skæringen med y-aksen i diagrammet, der svarer til ingen åbning i blændeskiven i membranen, og er dermed et udtryk for utætheden i selve membranen og dens samlinger. Der gennemføres en lineær regression for hvert differenslufttryk, der måles ved. Denne behandling af data benyttes til at kalibrere lufttætheden af membransystemet. Skæringen b for de udførte lufttryk niveauer afbildes herefter som funktion af lufttrykket, og der bestemmes et udtryk for skæringens trykafhængighed. b udtrykkes ved en hældning, α , og en konstant, b_0 . b_0 er en teknisk størrelse der svarer til den relative luftstrøm, der vil være gennem membranens utæthed, hvis der er ingen lufttrykforskel over membransystemet. Ved meget lufttætte membransystemer kan den statistiske usikkerhed resultere i en negativ værdi af b_0 . I sådanne tilfælde udføres en ny regression, hvor b_0 er lig 0. Denne bearbejtning af data er nødvendig for at sikre, at når der ikke er en trykforskel over membransystemet, er der ligeledes ingen luftstrøm gennem Membransystemet.

Lufttryksforskellen over membransystemet på 30 Pa anvendes til bestemmelse af værdien, der angiver membransystemets evne til at være istand til at reducere indtrængningen af radon. Luftstrømmen over membransystemet ved en lufttrykforskel på 30 Pa angives som membransystemets q_{30} -værdi. Værdien er således et udtryk for, hvor effektivt det enkelte membransystem kan forventes at hindre luftindtrængning.

Luftgennemstrømningen q_{30} svarer til en luftgennemstrømning i et 100 m² hus med et differenstryk mellem lige over nederste gulv inde og ude, atmosfæren, på mellem 1 til 4 Pa.

Membransystemerne inddeles efter den ved prøvning opnåede q_{30} -værdi i følgende fire klasser:

- Klasse 1 er tilnærmelsesvis lufttætte membransystemer med en værdi for q_{30} mindre end eller lig 4 l/min
- Klasse 2 er meget lufttætte membransystemer med en værdi for q_{30} større end 4 l/min men mindre end eller lig 10 l/min
- Klasse 3 er membransystemer, der yder en middel lufttæthed med en værdi for q_{30} større end 10 l/min men mindre end eller lig 20 l/min
- Klasse 4 er membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed og derved kan yde en mindre beskyttelse mod indtrængning af radon med en værdi for q_{30} større end 20 l/min men mindre end eller lig 40 l/min.

De prøvede materialer kan inddeles som vist i tabel 3.

Tabel 3. Membransystemer inddelt efter deres evne til at reducere indtrængning af radon ved lufttætning. Klasse 1 er tilnærmelsesvis lufttætte membransystemer, klasse 2 er meget lufttætte membransystemer, klasse 3 er membransystemer, der yder en middel lufttæthed og klasse 4 er membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed.

Membransystem	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
System A				
System B				
System C				
System D				
System E				
System F				
System G				
System H				
System I				
System J				

Et membransystem, som ikke kan klassificeres i klasse 4, kan ikke betragtes som et system, der kan reducere indtrængning af radon.

Prøvningerne af system G og system H samt prøvningerne af system I og system J viser, at lufttætning af samlinger har afgørende betydning for systemløsningens samlede evne til at sikre mod luftindtrængning. Membransystemet G og H bygger begge hovedsageligt på en polyethylenmembran. Systemløsning G er samlet med fast tape, og systemløsning H er samlet med akryl-dispersionsklæber og fast tape. Systemløsning I og J bygger begge hovedsageligt på et støjdæpende alufoliebelagt gulvunderlag som membran. Systemløsning I er samlet med fast alu-butyltape, og systemløsning J er samlet med akryl-dispersionsklæber og fast alu-butyltape. Den skærpede opmærksomhed på samlinger betyder, at systemløsningerne H og J kan betragtes som henholdsvis systemløsninger i klasse 2, som er et meget lufttæt membransystem, og klasse 3, som er et membransystemer, der yder en middel lufttæthed.

Prøvningen af en fast bitumenbaseret membran med to-komponent flydeforseglers viser sig at være i klasse 1, som omfatter tilnærmelsesvis lufttætte membransystemer. Desuden opnår en hydraulisk afbindende armeret hæftemørtelpuds som membran med samlinger lufttætning med akrylfugemasse en værdi svarende til klasse 4, som omfatter membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed og derved kan yde en mindre beskyttelse mod indtrængning af radon.

Membranen, som udgør hovedparten af arealet af membransystemet har stor betydning for den opnåede lufttætning, men samlingerne har afgørende betydning for systemløsningens samlede lufttæthed og derved dens egenskab som radontætning. Resultaterne fra prøvningerne viser således, at selv ved anvendelse af meget lufttætte membraner har samlinger i selve

membranen og mod andre elementer stor betydning for membransystemets samlede lufttætning.

De enkelte materialer kan i sig selv være meget lufttætte, men som et samlet system er det helt afgørende for systemløsningens samlede ydeevne, at samlinger kan udføres på en måde, således at de forbliver samlet med en tilstrækkelig lufttæthed. Ofte resulterer spændinger i samlinger mellem materialer i spændingsrelaksation og sammentrækninger, som resulterer i, at samlinger åbner sig. Det sker typisk omkring folder i folier, eller hvor materialerne ved udlægning er strukket, eller hvor samlede materialer har forskellig temperaturudvidelseskoefficient eller ved opfugtning eller udtørring. Her opstår differensbevægelser mellem materialerne i samlingen, der fører til åbninger i membranens samlinger. Prøvningen af membransystemer er således et vigtigt værktøj i forbindelse med at vurdere, om en systemløsning til radonsikring udført ved lufttætning af en konstruktion er egnet i forhold til den effekt, systemet forventes at skulle yde i forhold til indtrængningen af radon til indeklimaet.

Konklusion

En standardiseret metode er anvendt til prøvning af ti principielt forskellige membransystemer, der ønskes anvendt til radonsikring, hvor radonsikring udføres ved lufttætning. Prøvningsmetoden er nærmere beskrevet i SBI-rapporten SBI 2016:21, *Lufttæthed af materialer til radonsikring – Testmetode* (Rasmussen & Cornelius, 2016). Prøvningsmetoden anvendes til materialer og systemløsninger, der ønskes anvendt til radonsikring, der udføres ved at reducere luftindtrængning til indeklimaet. Prøvningen inkluderer lufttætheden af selve membranen, samlingerne i membranen og omkring gennemføringer i form af rør og riste samt lufttætheden af indad- og udadgående hjørner.

Metoden kan anvendes til at vurdere et membransystems modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m² med et differenstryk mellem lige over nederste gulv inde og ude på mellem 1 til 4 Pa.

Denne undersøgelse viser, at der er behov for at kunne dokumentere effekten af tiltag til radonsikring, hvor radonsikringen udføres som en lufttætning af konstruktionerne. Dokumentation kan vise tiltagets evne til at etablere lufttætning af vægge og gulve, inklusiv lufttætning omkring gennemføringer i form af rør og riste. Prøvningen dokumenterer et membransystems bedste evne til at være istand til at reducere indtrængningen af radon.

Luftstrømsmålinger for membransystemer ved en lufttryksforskel over membransystemet på 30 Pa, anvendes for vurderingerne. På baggrund af prøvningen kan membransystemer opdeles i fire klasser. Opdelingen kan foretages på baggrund af membransystemets opnåede resultat ved prøvning. Prøvningens resultat angiver membransystemets evne til at lufttætte en konstruktion, så som kældergulv, kældervægge eller dæk. Klasse 1 omfatter membransystemer, der er tilnærmelsesvis lufttætte, klasse 2 omfatter membransystemer, der er meget lufttætte, klasse 3 omfatter membransystemer, der yder en middel lufttæthed, og klasse 4 omfatter membransystemer, der kan yde en mindre grad af lufttæthed og derved kan yde en mindre beskyttelse mod indtrængning af radon. Ud fra resultatet fra prøvningen kan en bygherre vælge en radonsikring, som yder den ønskede radonsikring på et oplyst grundlag.

Materialer, som ikke kan klassificeres i en af de fire klasser, kan ikke betragtes som et membransystem, der kan reducere indtrængning af radon ved konvektion.

Resultaterne fra prøvningerne viser, at selve den anvendte membran har stor betydning for den opnåede lufttætning. Ligeledes viser resultaterne fra prøvningerne, at selv ved anvendelse af meget lufttætte membraner har samlinger i selve membranen og mod andre elementer stor betydning for systemets samlede lufttæthed. Valg af materialer til lufttætning omkring gennemføringer, fx rør og riste samt lufttætning af indad- og udadgående hjørner samt lufttætningen mod tilstødende bygningsdele, har væsentlig betydning for membransystemets samlede evne til at lufttætte en konstruktion.

Resultatet fra prøvning kan dokumentere, om de valgte materialer der anvendes som en samlet systemløsning er egnet til radonsikring, hvor sikringen udføres som en lufttætning af konstruktionerne. De enkelte materialer kan i sig selv være meget lufttætte, men som et samlet system er det helt afgørende for systemløsningens samlede ydeevne, at samlinger kan udføres på en måde, således at de forbliver samlet med en tilstrækkelig lufttæthed. Spændinger og differensbevægelser i materialer, der er samlet med fx fast tape eller med mellemlæg, kan resultere i, at samlinger åbner sig. Åbninger forekommer typisk omkring folder i folier, eller hvor materialerne ved udlæg-

ning er strukket, eller hvor samlede materialerne har forskellig temperaturudvidelseskoefficient, eller hvor opfugtning eller udtørring resulterer i differensbevægelser. Prøvning af et membransystem er således nødvendig for at kunne vurdere og dokumentere, om systemet kan begrænse indtrængning af radon til indeklimaet i ønsket grad.

Litteratur

Dansk Standard. (2000). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af rivestyrke - Del 2: Plast- og gummimembraner til tagdækning* (DS/EN 12310-2:2000). København: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2006). *Fleksible membraner til fugtisolering - Tagpap, plast- og gummifolier til tagdækning - Bestemmelse af modstand over for slagpåvirkning* (DS/EN 12691:2006). København: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2010). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af samlingers forskydningsstyrke - Del 2: Plast- og gummifolier til tagdækning* (DS/EN 12317-2:2010). København: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2013). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af trækstyrkeegenskaber - Del 2: Plast- og gummimembraner til tagdækning* (DS/EN 12311-2:2013). København: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2015). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bitumen-, plast- og gummifolier til tagdækning - Bestemmelse af modstand over for statisk last* (DS/EN 12730:2015). København: Dansk Standard.

Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010). *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)*. København: Erhvervs- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=132697>

Jensen, R.B., & Gunnarsen, L.B. (2008). Radonkoncentrationen i nye enfamiliehuse. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://www.sbi.dk/indeklima/luftkvalitet/radonkoncentrationen-i-nye-enfamiliehuse/radonkoncentrationen-i-nye-enfamiliehuse-1>

Rasmussen, T.V., & Wraber, I. (2011). *Radon - kilder og måling* (SBI-anvisning 232). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/232>

Rasmussen, T.V. (2015). *Radonsikring af nye bygninger, 2. udgave* (SBI-anvisning 233). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/233>

Rasmussen, T.V. (2016). *Radonsikring af eksisterende bygninger, 2. udgave* (SBI-anvisning 247). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/247>

Rasmussen, T.V., Cornelius, T. (2016). *Lufttæthed af materialer til radonsikring* (SBI 2016:21). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <https://sbi.dk/Pages/Lufttaethed-af-materialer-til-radonsikring.aspx?s=Luftt%C3%A6thed+af+materialer+til+radonsikring+%E2%80%93+Testmetode>

Rådets for den europæiske union. (2013). *RÅDETS DIREKTIV 2013/59/EURATOM af 5. december 2013. om fastlæggelse af grundlæggende sikkerhedsnormer til beskyttelse mod de farer, som er forbundet med udsættelse for ioniserende stråling og om ophævelse af direktiv 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom og 2003/122/Euratom*. Lokaliseret 21-1-2018 på: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/ALL/?uri=CELEX:32013L0059>

SINTEF Byggforsk. (2016). *Radonmembran: Prøving av lufttetthet* (NBI 167/02). Norge: SINTEF Byggforsk. Lokaliseret på: <http://www.byggforsk.no>

Sundheds- og Ældreministeriet. (2018a). *Bekendtgørelse om ioniserende stråling og strålebeskyttelse* (BEK nr. 84 af 02/02/2018). Lokaliseret 05-02-2018 på: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=197135>

Sundheds- og Ældreministeriet. (2018b). *Lov om ioniserende stråling og strålebeskyttelse* (strålebeskyttelsesloven) (LOV nr. 23 af 15/01/2018). Lokaliseret 04-09-2018 på: <https://www.retsinformation.dk/Forms/r0710.aspx?id=197054>

Trafik- og Byggestyrelsen. (2015). *Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015 (BR15)* (BEK nr. 1601 af 14/12/2015). København: Trafik- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på: <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=174471>

Zeeb, H., Shannoun, F. (ed)., (2009). *WHO Handbook on indoor radon – a public health perspective*. World Health Organization. Geneva. 94 p.

Denne rapport beskriver, hvor gode ti principielt forskellige membransystemer er til at begrænse luftindtrængning gennem konstruktioner mod jord, og dermed hvor gode de er til at begrænse indtrængning af radon fra undergrunden.

Systemerne er testet efter en prøvningsmetode, der kan anvendes til at vurdere et membransystems modstand mod luftindtrængning fra undergrunden gennem konstruktioner mod jord i et typisk énfamiliehus på 100 m². Prøvningen omfatter hele systemløsningen og inkluderer således membraner og materialer til lufttætning i samlinger mellem membraner og mellem membraner og tilstødende bygningsdele, herunder gennemføringer.

Prøvning af systemløsninger kan anvendes af bygherrer, når de skal vælge en systemløsning, der yder den ønskede effekt mod indtrængning af radon.

1. udgave, 2018
ISBN 978-87-563-1893-8